

АДАПТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРИНИМАЕМЫХ ПО РАДИОКАНАЛУ, НА ФОНЕ ШУМОВЫХ ПОМЕХ

ADAPTIVE RESTORATION OF IMAGES RECEIVED BY RADIO CHANNEL WITH NOISE INTERFERENCE (JAMMING)

канд. техн. наук В.В. Скачков, Е.К. Мыйнов

Одесский институт Сухопутных войск, г. Одесса, Украина

Д.А. Маковеев

Государственно предприятие –

Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения,
г. Одесса, Украина

Исследование методов адаптивного приема сигналов остается объектом пристального внимания разработчиков информационных радиотехнических систем. Применение адаптивных методов в радиолокации, связи и спектральном анализе подробно рассмотрено в [1]. Однако приведенные здесь результаты целесообразно дополнить решением задачи адаптивного восстановления изображения, прием которого происходит по радиоканалу на фоне шумовых помех.

Цель работы – синтез и исследование эффективности адаптивной системы восстановления изображений на фоне шумовых помех.

В общем случае, изображение, принимаемое по радиоканалу на фоне шумовых помех, может быть развернуто в вектор-столбец, подобно тому, как это сделано в [2]

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{n} + \sum_{m=1}^M \mathbf{N}_m,$$

где \mathbf{X} – вектор исходного изображения; \mathbf{n} – вектор внутренних шумов канала приема; \mathbf{N}_m – вектор внешнего шума от m -го источника, который произвольно расположен в пространстве относительно точки приема; \mathbf{H} – матрица оператора импульсного отклика дефокусирующей системы; M – количество источников внешних шумовых помех.

Адаптивное восстановление изображения предусматривает выполнение по алгоритму $\mathbf{Z}(\cdot)$ соответствующих операций над наблюдаемым вектором \mathbf{Y} : $\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{Z}(\mathbf{Y})$, где $\hat{\mathbf{X}}$ – вектор изображения, восстановленный на фоне помех, в процессе адаптации системы. В адаптивной системе с решеткой из N приемных каналов, разнесенных в пространстве, результат $\hat{\mathbf{X}}$ формируется в соответствии с алгоритмом N -мерного весового суммирования отсчетов наблюдаемых процессов

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{Z}(\mathbf{X}) = \mathbf{Y} - \sum_{i=1}^N w_i \mathbf{Y}_i,$$

где \mathbf{Y} – векторный процесс в основном канале приема весового сумматора; \mathbf{Y}_i – векторный процесс в i -ом канале приема весового сумматора; $\mathbf{W} = [w_1 \dots w_i \dots w_N]^T$; $i \in \overline{1, N}$. Если в системе отсутствуют дефокусирующие эффекты, то векторы \mathbf{Y} и \mathbf{Y}_i можно представить, как

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} + \mathbf{n} + \sum_{m=1}^M \mathbf{N}_m;$$

$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{X} \exp(j\varphi_i(\theta_c)) + \mathbf{n}_i + \sum_{m=1}^M \mathbf{N}_m \exp(j\varphi_i(\theta_m)); i \in \overline{1, N},$$

где $\varphi_i(\theta)$ – фазовый сдвиг сигналов в i -ом канале антенной решетки, который зависит от расстояния между ее элементами и направления приема плоской электромагнитной волны θ .

Вектор среднеквадратических значений изображения на выходе решетки равен [3]

$$\sigma(\hat{\mathbf{X}}) = [\text{diag } \mathbf{M}(\hat{\mathbf{X}}\hat{\mathbf{X}}^T) \cdot \mathbf{1}]^{1/2}, \quad (1)$$

где $\mathbf{M}(\cdot)$ – оператор статистического усреднения; $\mathbf{1}$ – единичный вектор-столбец; $\text{diag } \mathbf{M}(\hat{\mathbf{X}}\hat{\mathbf{X}}^T)$ – матрица, составленная из элементов главной диагонали корреляционной матрицы, восстановленного изобра-

жения $M(\bar{X}\bar{X}^T)$.

В общем случае, процессы X , n , N_m статистически независимы между собой, и поэтому матрицу корреляционных моментов изображения на выходе адаптивной системы можно записать, как

$$M(\bar{X}\bar{X}^T) = \mathbf{R}\mathbf{R}^T J_C(\mathbf{W}) + J_{\text{пш}}(\mathbf{W}) \cdot \mathbf{I}, \quad (2)$$

где \mathbf{R} – нормированный модуляционный вектор, зависящий от информационного объема изображения X ; \mathbf{R} – единичная матрица; $J_C(\mathbf{W})$, $J_{\text{пш}}(\mathbf{W})$ – квадратичные формы, равные

$$\left\{ \begin{aligned} J_C(\mathbf{W}) &= P_C - 2 \operatorname{Re}(\mathbf{W}^T \alpha_C) + \mathbf{W}^T \mathbf{A}_C \mathbf{W}; \\ J_{\text{пш}}(\mathbf{W}) &= \sum_{m=1}^M P_m + P_{\text{ш}} - 2 \operatorname{Re}(\mathbf{W}^T \alpha_{\text{п}}) + \mathbf{W}^T \mathbf{A}_{\text{пш}} \mathbf{W} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

здесь P_C , $P_{\text{ш}}$, P_m – мощность, соответственно, полезного сигнала (С), внутреннего шума (Ш) и помехи (П) от m -го источника; \mathbf{A}_C , – матрицы корреляционных моментов полезного сигнала (\mathbf{A}_C), помехи и внутреннего шума ($\mathbf{A}_{\text{пш}}$) в каналах весового сумматора; $\mathbf{A}_{\text{пш}} = \mathbf{A}_{\text{п}} + P_{\text{ш}} \mathbf{I}$; α_C , $\alpha_{\text{п}}$ – векторы, объединяющие взаимные корреляционные моменты полезного сигнала (α_C) и помехи ($\alpha_{\text{п}}$) в основном и вспомогательных каналах весового сумматора.

Восстановление изображения на фоне шумовой помехи сводится к минимизации суммы квадратичных форм $J_{\Sigma}(\mathbf{W}) = J_C(\mathbf{W}) + J_{\text{пш}}(\mathbf{W})$ при ограничении $\mathbf{W}^T \alpha_C = 0$. В результате решения этой задачи методом множителей Лагранжа имеем оптимальный параметрический вектор адаптивной системы восстановления изображения на фоне помех

$$\mathbf{W}_{\text{opt}} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^{-1} \alpha_C (\alpha_C^T \mathbf{A}^{-1} \alpha_C)^{-1} \alpha_C^T] \mathbf{A}^{-1} \alpha,$$

где $\mathbf{A} = \mathbf{A}_C + \mathbf{A}_{\text{п}} + P_{\text{ш}} \mathbf{I}$; $\alpha = \alpha_C + \alpha_{\text{п}}$. Алгоритм адаптивного поиска вектора \mathbf{W}_{opt} имеет вид

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{P} \{ \mathbf{W}(n) - \mu [\mathbf{A}\mathbf{W}(n) + \alpha] \}, \quad (4)$$

где $\mathbf{P} = \mathbf{I} - \alpha_C (\alpha_C^T \alpha_C)^{-1} \alpha_C^T$ – матрица проектирования. Этому алгоритму соответствует структура, представленная на рис. 1.

В соответствии с (1) – (4) был смоделирован процесс адаптивного восстановления изображения на фоне шумовой помехи от трех независимых источников ($M = 3$). Результаты моделирования приведены на рис. 2 – 5. На рис. 2 и 3 представлены исходное и наблюдаемое изображения. Превышение суммарной мощности помехи над внутренним шумом составляет $q_{\text{п}} = 32$ дБ, уровень полезного сигнала превышает внутренний шум на $q_C = 10$ дБ.

Процесс адаптации 11-канальной системы представлен на рис. 4 в виде зависимости отношения $q_{\text{спш}} = J_C[\mathbf{W}(n)]/J_{\text{пш}}[\mathbf{W}(n)]$ от номера шага адаптации n . Изображения на рис. 5 соответствуют процессу адаптации на рис. 4.

Результаты на рис. 2 – 5 иллюстрируют эффективность предлагаемого метода решения задачи восстановления изображения, принимаемого по радиоканалу, в недетерминированной помеховой ситуации.

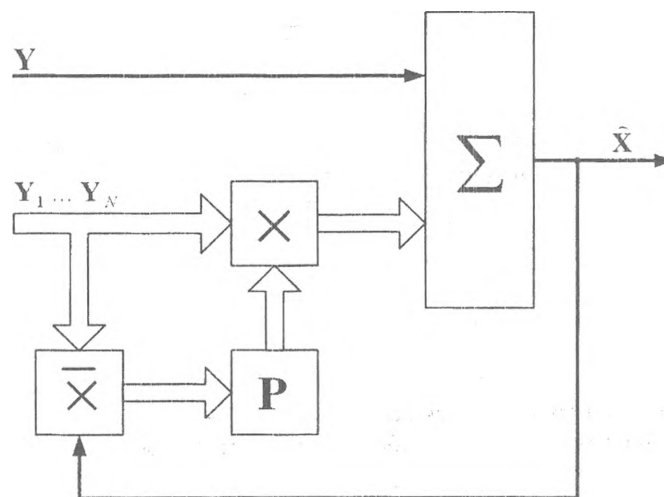


Рисунок 1 – Адаптивная система восстановления изображения, принимаемого по радиоканалу



Рисунок 2 – Исходное изображение

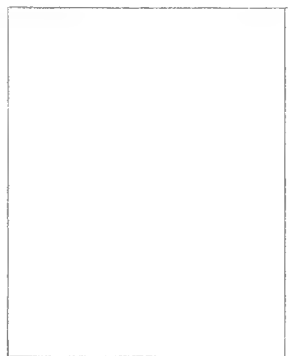


Рисунок 3 – Изображение в условиях помех

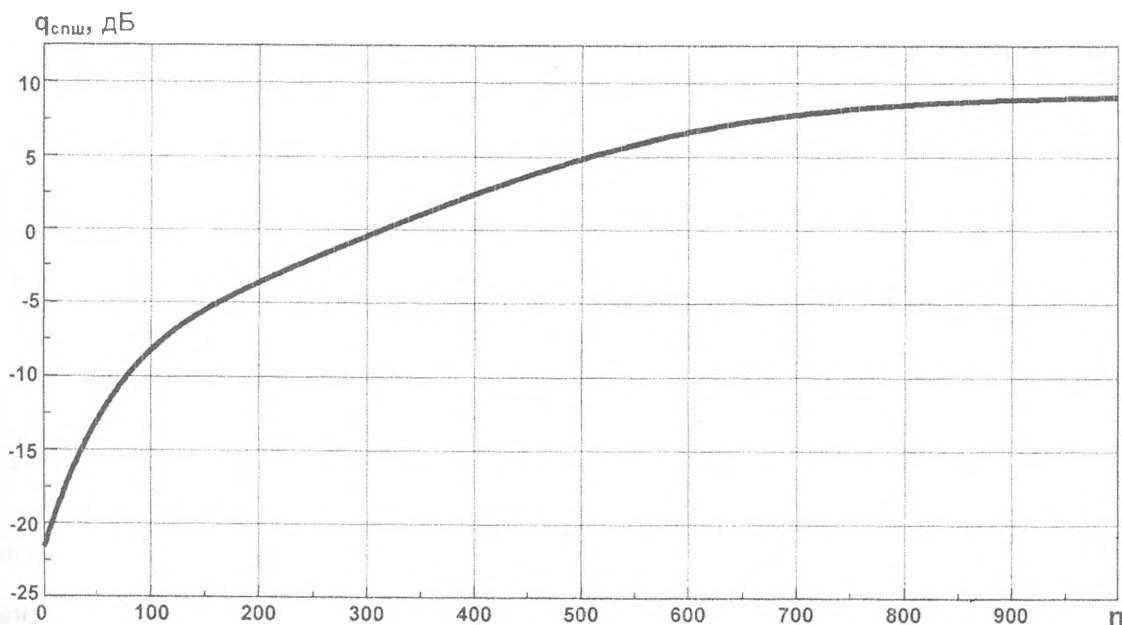
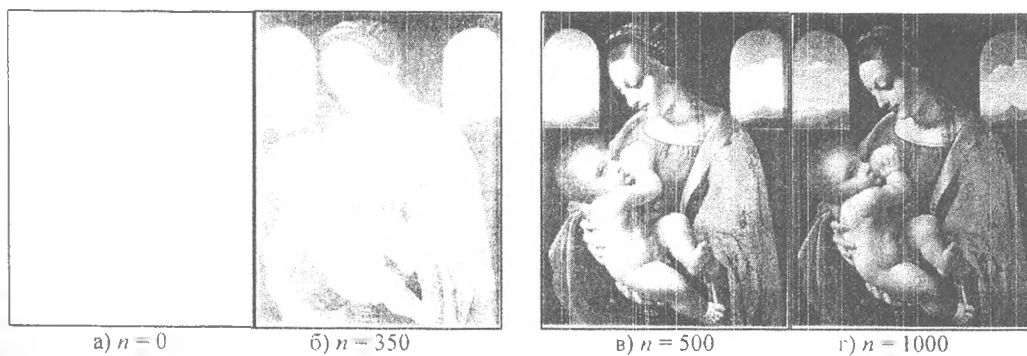
Рисунок 4 – Процесс адаптации системы: $N = 11$; $q_c = 10$ дБ, $q_n = 32$ дБ; $\mu = 4 \cdot 10^{-6}$ 

Рисунок 5 – Восстановление изображения в процессе адаптации

Литература

1. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Ширман Я.Д., Лосев Ю.И. и др.: Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: ЗАО "МАКВИС", 1998. – 828 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1 – 312 с.
3. Скачков В.В., Мыйнов Е.К., Клименко В.В. Исследование влияния внутрисистемных помех и шумов наблюдения на качество инверсной реставрации дискретных изображений // Праці УНДІРТ. – 2005. – № 2(42). – С. 38 – 42.